

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO HBV A PARTIR DE SU APLICACION A DOS CUENCAS CON DIFERENTES CARACTERISTICAS E INFORMACIÓN HIDRO-METEREOLÓGICA.

F. Ruiz Venegas¹, E. Muñoz Ortiz^{2,3}, J. Boll⁴ y J. Arumi⁵

RESUMEN:

La implementación de modelos hidrológicos ha ido en aumento debido a que permiten estudiar o evaluar, por ejemplo, la planificación y el comportamiento de los recursos hídricos y observar variados cambios o tendencias a largo plazo en alguna zona determinada, entre otros. En el presente estudio se implementa el modelo HBV a escala diaria en 2 cuencas con diferentes características hidrológicas, ubicación y con diferencia en la información hidro-meteorológica disponible. Las cuencas estudiadas corresponden a Río Perquillauquén (Chile) a la altura de la estación fluviométrica “Río Perquillauquén en San Manuel” controlada por la Dirección General de Aguas de Chile (DGA) y Paradise Creek (HUC 17060108) ubicada en el condado de Palouse (USA). Como resultado se obtuvo que el modelo es representativo para la cuenca del Río Perquillauquén, mientras que para la cuenca *Paradise Creek* se obtienen resultados insatisfactorios. Una de las razones de la representatividad insatisfactoria del modelo, se puede asociar al continuo congelamiento del suelo debido a las bajas temperaturas existentes en la zona (Brooks et al., 2010), además de que debe existir un exceso de saturación en el suelo para que comience la escorrentía superficial.

ABSTRACT:

The implementation of hydrological models has been increasing because they allow for study or evaluate, as an example, the planning and behavior of hydric resources and observe a variety of changes or tendencies on the long term in any given area, among others. In the present study, the HBV model is implemented in 2 basins with different hydrological characteristics, location and with different hydro-meteorological information available. The basins studied correspond to Río Perquillauquén (Chile) at the height of the Río Perquillauquén San Manuel river flow station controlled by the Chilean Water Directorate (DGA) and Paradise Creek (HUC 17060108) located in Palouse County (USA). As a result, it was obtained that the model is representative for the Perquillauquén River basin, while for the Paradise Creek watershed, unsatisfactory results are obtained. One of the reasons for the unsatisfactory representativeness of the model can be associated with the continuous freezing of the soil due to the low temperatures in the area (Brooks et al., 2010), besides that there must be an excess of saturation in the soil so that the superficial runoff begins.

Palabras Claves: Modelo HBV - Model HBV, MCAT , Perquillauquén, Paradise Creek.

¹ Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, faruiz@ing.ucsc.cl

² Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, emunozo@ucsc.cl

³ Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables (CIBAS), Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE

⁴ Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil y Medioambiente, Universidad del estado de Washington, USA, j.boll@wsu.edu

⁵ Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, CHILE, jarumi@udec.cl

1. INTRODUCCIÓN:

Los modelos matemáticos constituyen una herramienta para el manejo efectivo de la disponibilidad del agua, debido a su gran precisión, confianza en el pronóstico y la previsión (Najafi et al., 2011). Los modelos en hidrología, buscan representar los procesos hidrológicos dentro de una cuenca (e.g. precipitación, infiltración, evapotranspiración, deshielo, etc.) y se usan con el objetivo de predecir condiciones para una mejor gestión y administración del agua disponible, la cual se ha vuelto un recurso calificable como escaso.

Para el caso de Chile central, la fuente más importante de agua dulce, que almacena gran cantidad de agua caída en forma de precipitación líquida o sólida es la Cordillera de los Andes. De ahí proviene una gran parte del agua que escurre por los ríos. Es de gran interés, por lo tanto, poder representar este sistema de manera confiable, para predecir el comportamiento futuro de los caudales y apoyar la toma de decisiones.

Los modelos hidrológicos se pueden clasificar desde tres puntos de vista. Según su distribución espacial (agregado, semi-distribuido, distribuido), según la forma de representar los procesos hidrológicos que ocurren en la cuenca (físicamente basados, métricos, conceptuales) o según la extensión temporal en la que se puede aplicar el modelo (episodio, continuo) (Orduña M., 2007). Normalmente los modelos hidrológicos son desarrollados para condiciones específicas de cuenca y escalas temporales, por lo tanto, al emplearlos en cuencas con condiciones distintas se pueden obtener resultados poco satisfactorios, por lo que la elección correcta del modelo a utilizar es de gran importancia para una modelación satisfactoria. Dentro de los modelos semi-distribuidos (distribución espacial) se tiene el modelo HBV desarrollado por Bergström (1972). Este modelo ha sido utilizado en varios países (e.g. Groenlandia, Bruland (1991); Suecia, Bergström (1985), Häggström (1989), Bergström (1990); China, Rusli et al., (2015), etc), para obtener predicciones hidrológicas, cálculo de crecidas de diseño y estudios sobre el cambio climático (Grillakis et al., 2010).

Dentro de las principales ventajas del modelo HBV está su enfoque conceptual, en que los procesos hidrológicos se simplifican a funciones algebraicas y, por lo tanto, los cálculos requeridos pueden realizarse de una forma sencilla, adicionalmente los datos de entrada requeridos son de fácil acceso ya que necesita sólo una serie de precipitaciones (diaria o mensual), una serie de temperatura ponderada (diaria o mensual) y el promedio de evapotranspiración media mensual.

El objetivo de este estudio es identificar las principales características y ventajas del modelo HBV, además de comprender como la calidad de la información utilizada puede afectar a los resultados.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la cuenca del Río Perquillauquén (502 Km^2) ubicada en el centro sur de Chile ($36^{\circ}34' - 36^{\circ}19' \text{ S}, 71^{\circ}37' - 71^{\circ}13' \text{ W}$) (Figura 1), y la cuenca *Paradise Creek* ($40,9 \text{ Km}^2$)(PCW) ubicada en la cuenca del Río Palouse en el norte de Idaho, USA (Figura 2).

2.1 Cuenca de Perquillauquén

La cuenca del Río Perquillauquén comprende elevaciones que varían entre los 260 y 2100 msnm. Posee un régimen hídrico pluvial, con una pequeña influencia nival en invierno debido a las bajas temperaturas. La temperatura anual de la cuenca es de $11,07^{\circ}\text{C}$, con temperaturas máximas en verano (máximas de $24,7^{\circ}\text{C}$), mientras que las temperaturas más bajas se registran en el mes de julio (mínimas de $-3,5^{\circ}\text{C}$)

La zona de estudio, posee un clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses. Además, por la geografía que posee la cuenca, al estar cerca de la cordillera, existe un incremento en las precipitaciones debido al efecto orográfico que produce la cordillera de los Andes, donde las precipitaciones alcanzan una media anual de 2300 mm.

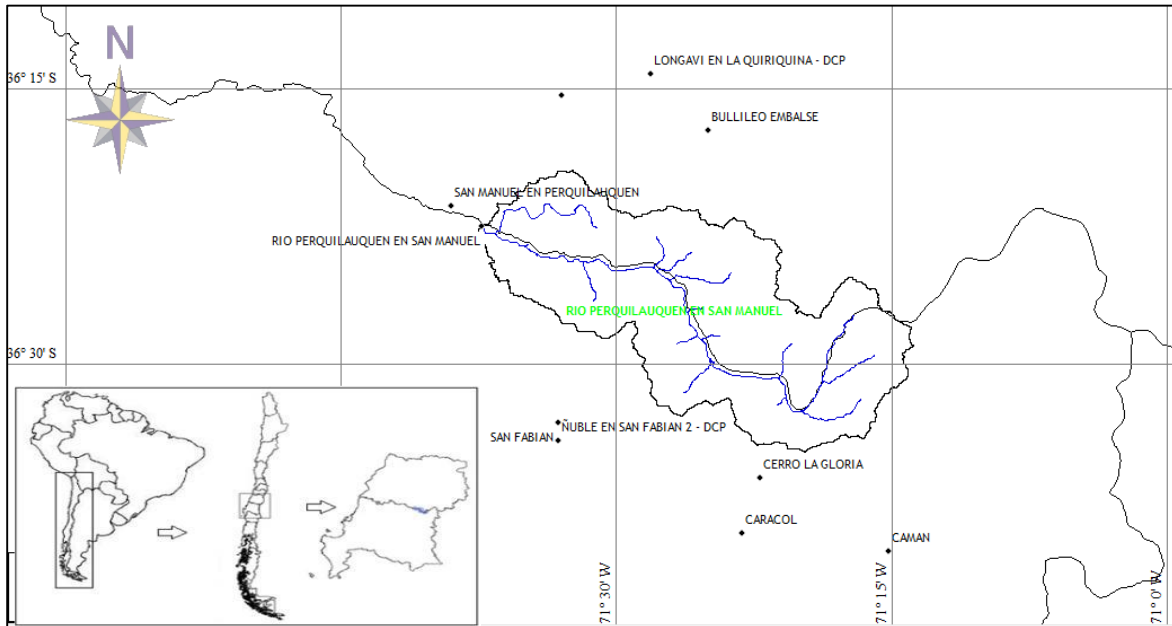


Figura 1: Ubicación cuenca del Río Perquilauquén.

2.2 Cuenca *Paradise Creek*

La PCW está conformada por una forma de terreno dominada por colinas onduladas, moderadamente empinadas a empinadas, con las mayores pendientes en la parte superior de la cuenca. Las elevaciones oscilan entre los 1330 m en la parte superior y los 770 m en la salida. Los suelos en la zona de montaña, en su mayor parte compuesto por bosques, están formados por lodos de grava bien drenados los cuales están formados por ceniza volcánica y residuo granítico.

La precipitación anual promedio entre 2001 y 2008 oscila entre los 680 mm a 700 mm. Mientras que, la temperatura media anual en la cuenca es de 8,9 °C, oscilando entre -0,64 °C el mes más frío de invierno (diciembre) hasta 19,8 °C el mes más caluroso de la temporada de estiaje (julio).

3. MÉTODOS

3.1 Descripción del modelo HBV

El modelo HBV es un modelo de balance hídrico pluvio-nival y semi-distribuido de tipo conceptual, desarrollado por el Instituto Meteorológico e Hidrológico sueco (SMHI). En este estudio se utilizó la simplificación realizada por Aghakouchak and Habib (2010)(ver, diagrama de flujo del modelo en la Figura 3).

El modelo simula la descarga a escala de tiempo diario, basado en series de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial diaria (Bergström, 1992).

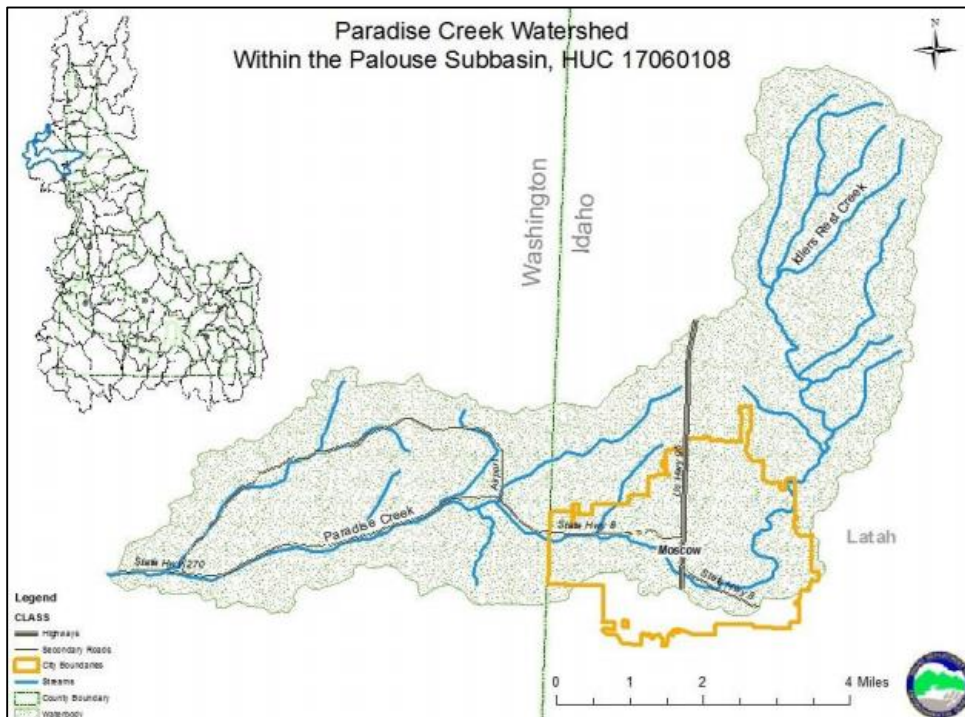


Figura 2: Cuenca Paradise Creek

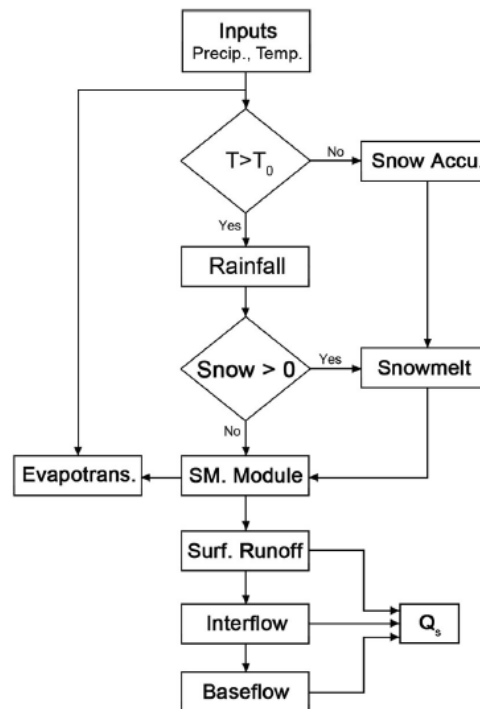


Figura 3: Proceso general de la versión educativa del modelo HBV (Aghakouchak and Habib,2010)

El modelo HBV consta de cuatro módulos principales:

(1) Módulo de deshielo y acumulación de nieve: asume que la fusión y acumulación de nieve son directamente proporcionales a la temperatura. El primer parámetro es la temperatura umbral T_t para el inicio del deshielo. Para temperaturas sobre T_t la nieve se derrite, mientras que temperaturas bajo T_t la nieve se acumula. Si se produce un evento de precipitación cuando la temperatura es menor a T_t , la precipitación se acumula como nieve, de lo contrario se supone que la precipitación de entrada es lluvia. Sin embargo, tan pronto como la temperatura exceda el umbral, la fusión de nieve y precipitación comienzan a contribuir a la escorrentía. Para la estimación de la tasa de fusión de nieve se utiliza el método grados-día (ecuación 1).

$$S_m = DD \cdot (T - T_t) \quad (1)$$

Donde S_m es la tasa de fusión de nieve equivalente de agua [LT^{-1}]; DD es el factor grado-día [$L\theta^{-1}T^{-1}$] y T es la temperatura media diaria del aire [θ].

(2) Módulo de precipitación efectiva y humedad del suelo: La precipitación que cae sobre una cuenca se divide en dos componentes: una que contribuye a la infiltración en el suelo, y una asociada a la escorrentía superficial (P_{eff}). Esta última, conocida como precipitación efectiva, es estimada por el modelo HBV basado en el contenido de humedad del suelo en el momento de la precipitación. La capacidad de campo (FC) es el parámetro que describe el almacenamiento máximo de humedad del suelo. Cuando el contenido de humedad del suelo (SM) se aproxima a la capacidad de campo, la infiltración se reduce y la contribución de la precipitación a la escorrentía es directa. La ecuación 2 muestra cómo se calcula la precipitación efectiva en función del contenido de humedad del suelo en el modelo:

$$P_{eff} = \left(\frac{SM}{FC}\right)^\beta \cdot (P + S_m) \quad (2)$$

Donde P es la precipitación diaria [L]; β es un parámetro del modelo (Coeficiente de forma) [$-$]. Este parámetro β controla la cantidad de agua líquida ($P + S_m$) que contribuye a la escorrentía. Utilizando la ecuación 2 y un valor inicial de humedad de suelo (SM), se calcula la precipitación efectiva.

(3) Modulo de Evapotranspiración: para el cálculo de la evapotranspiración, el modelo utiliza la evapotranspiración potencial media mensual. Luego, para cada día dentro del período de simulación, la evapotranspiración potencial ajustada se calcula reduciendo el valor potencial basado en la diferencia entre la temperatura media del día y la temperatura mensual media según describe en la ecuación 3:

$$PE_a = (1 + C(T - T_m)) \cdot PE_m \quad (3)$$

Donde PE_a es la evapotranspiración potencial estimada [L]; PE_m es la evapotranspiración potencial media mensual [L]; C es un parámetro del modelo [θ^{-1}].

El parámetro C se utiliza para mejorar el rendimiento del modelo cuando la temperatura media diaria se desvía considerablemente de su media. La humedad del suelo y los cálculos de evapotranspiración real se acoplan mediante el uso del punto de marchitez permanente del suelo (PWP). La ecuación 4 presentan la relación entre la humedad del suelo y la evapotranspiración real.

$$E_a = PE_a \cdot \left(\frac{SM}{PWP} \right) \quad \text{si } SM < PWP \quad (4)$$

$$E_a = PE_a \quad \text{si } SM > PWP$$

La ecuación anterior muestra que cuando la humedad del suelo está por encima de PWP la evapotranspiración real tiene una relación lineal con la evapotranspiración potencial. Por otra parte, la ecuación 4 reduce la cantidad de evapotranspiración en la cuenca en función de la falta de humedad del suelo.

(4) Módulo de la respuesta de escorrentía: este módulo estima la escorrentía en la salida de la cuenca considerando dos depósitos de almacenamiento, uno encima del otro como se muestra en la Figura 4. El depósito superior modela el flujo superficial y sub-superficial, mientras que el segundo simula el flujo de base (aporte de agua subterránea). Los depósitos están conectados entre sí mediante la percolación a una tasa constante (Q_{perc}).

El depósito superior tiene dos salidas (Q_0 y Q_1), mientras el depósito inferior tiene una (Q_2). Cuando el nivel del agua en el depósito superior supera el valor umbral (L), se produce escorrentía rápidamente en la parte superior de este (Q_0), la respuesta de las otras dos salidas es relativamente lenta. Los caudales están controlados por los coeficientes de recesión k_0, k_1 y k_2 los cuales representan las funciones de respuesta de los depósitos. La tasa de percolación constante, está controlada por un coeficiente de almacenamiento de percolación k_p .

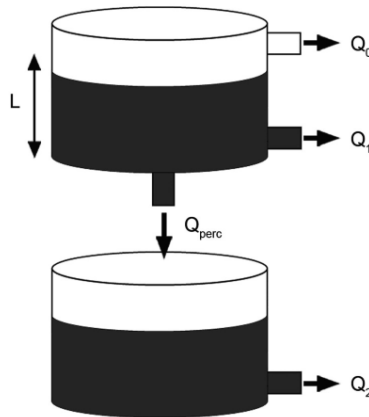


Figura 4: Depósitos conceptuales usados para estimar la respuesta de escorrentía.

3.2 Datos Hidro-Metereológicos

3.2.1. Cuenca de Perquillauquén

El objetivo de la implementación del modelo es analizar la capacidad de adaptabilidad del modelo para representar diferentes procesos hidrológicos en base a la capacidad para simular los caudales efluentes de la cuenca. Para ello se necesita disponer de información (series) de precipitación, temperatura y evapotranspiración en escala diaria. Para la obtención de la serie de precipitaciones, se utilizó el método de Inverso de la Distancia Ponderada, con la información de precipitación diaria de las estaciones meteorológicas Caracol, Bullileo, Caman, Digua Embalse, San Fabián y San Manuel en Perquillauquén, controladas por la Dirección General de Aguas (DGA, Chile).

Para obtener la información de temperatura se utilizaron registros diarios de la base de datos AgMERRA (Ruane et al., 2015). Esta base de datos pública registra información diaria desde 1980 hasta 2010, de todo el mundo con

una resolución espacial de $0,25 \times 0,25^\circ$ latitud/longitud. Para el cálculo de la temperatura diaria ponderada sobre la cuenca se utilizó el método de los polígonos de Thiessen, mientras que para la temperatura media mensual se utilizó la ponderación de la serie de temperatura diaria. El período de trabajo utilizado fue entre 2000 y 2010, donde se utilizaron 5 años de calibración y 5 años para la validación del modelo.

Para el cálculo de la evapotranspiración media mensual se utilizó el método de Thornthwaite (1948), el cual requiere una serie de temperatura media mensual de entrada y la cantidad de horas de luz solar en la cuenca.

3.2.2. Cuenca *Paradise Creek*

Las series de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial fueron entregadas por el Departamento de Ingeniería Civil y Medioambiente de la Universidad del estado de Washington (USA). El período de trabajo utilizado fue entre 2001 y 2008, donde se utilizaron 4 años de calibración y 4 años para la validación de los resultados.

3.2.3. Calibración y validación del modelo

Para realizar la calibración del modelo se realizó un análisis de sensibilidad regional, utilizando el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y la relación entre la desviación estándar y error cuadrático medio (RSR) (Moriassi et al., 2007) como medidas de desempeño. Para que un modelo se considere óptimo se espera que el valor de NSE sea lo más cercano a 1, mientras que el valor de RSR sea cercano a cero (Rusli et al., 2015). En la Tabla 1 se presentan los rangos recomendados para valores de NSE según Van Liew et al., (2005). Para la calibración se aplicó la metodología planteada en Muñoz et al (2014), utilizando la herramienta de análisis de modelos *Monte Carlo Analysis Toolbox* (MCAT).

Para la etapa de calibración el modelo se realizaron 5000 simulaciones. Como referencia se utilizaron los rangos de parámetros definidos en otros estudios (Aghakouchak and Habib, 2010; Kollat et al., 2010) (Tabla 2), para luego ajustar estos parámetros manualmente mediante gráficos de dispersión. Estos gráficos de dispersión relacionan los diferentes valores tomados por un parámetro particular con la función objetivo definida por el usuario. Debido a que las funciones objetivo cuantifican las diferencias entre los flujos observados y simulados, un parámetro identificable debe mostrar claramente un mínimo, mientras que un parámetro no identificable debe mostrar una distribución uniforme y una mayor dispersión de los puntos (Muñoz et al., 2014). Estos parámetros identificables se ajustan encontrando sus valores mínimos.

Tabla 1: Clasificación general de rendimiento (Van Liew et al., 2005).

Clasificación de rendimiento	NSE
Muy Bueno	$0.75 < \text{NSE} < 1.00$
Bueno	$0.65 < \text{NSE} < 0.75$
Satisfactorio	$0.50 < \text{NSE} < 0.65$
Insatisfactorio	$\text{NSE} < 0.50$

Para la validación se implementó el modelo con los parámetros óptimos obtenidos en la etapa de calibración y se evaluó el modelo por medio de las funciones objetivo mencionadas. Luego, se realizó una comparación entre el índice NSE obtenido en la calibración y el índice NSE obtenido en la validación, para luego realizar una

comparación de estos. Para dar por validado el modelo la diferencia entre los índices NSE deben mantenerse en el rango obtenido para la calibración.

Tabla 2: Parámetros del modelo y rangos utilizados.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo
Rutina de nieve			
TT ($^{\circ}C$)	Temperatura umbral que indica el inicio del derretimiento	0	0
C_{melt} ($mm^{\circ}C^{-1}d^{-1}$)	Fracción de nieve que se derrite sobre la temperatura umbral (TT) de inicio del derretimiento	0.5	7
sf	Factor de ajuste para acumulación de nieve	0.5	1.2
Rutina de suelo			
FC (mm)	Máxima humedad (Almacenamiento en la caja de suelo)	100	2000
β	Coefficiente empírico	0	7
LP	Umbral para la reducción de la evapotranspiración (SM/FC)	0.3	1
C ($^{\circ}C^{-1}$)	Factor de corrección para la evapotranspiración potencial	0.01	0.2
Rutina de respuesta			
hl (mm)	Umbral para la respuesta rápida de escorrentía	10	70
K_0 (d^{-1})	Coefficiente de recesión respuesta rápida (deposito superior)	0.3	0.6
K_1 (d^{-1})	Coefficiente de recesión respuesta lenta (deposito superior)	0.1	0.2
K_2 (d^{-1})	Coefficiente de recesión (deposito inferior)	0.01	0.1
K_p (d^{-1})	Coefficiente del flujo máximo para la percolación	0.01	0.1

4. RESULTADOS

4.1 Cuenca del Río Perquilauquén

Los resultados obtenidos de la calibración del modelo para la cuenca de Perquilauquén se muestran en la Figura 5 (a), se observa que el modelo representa de buena manera los procesos hidrológicos que ocurren en la cuenca. Se obtuvo un índice NSE de 0,85 que según lo presentado en la Tabla 1 corresponde a una simulación definida como “Muy Buena” entre los caudales simulados y observados.

Luego para la etapa de validación, se implementó el modelo con los parámetros de la calibración (Tabla 3). La Figura 5 (b) muestra los resultados obtenidos. De igual forma se obtuvieron resultados calificados como “Muy Buenos”.

Según los resultados obtenidos se considera que el modelo es válido para representar las características hidrológicas de la cuenca del río Perquilauquén.

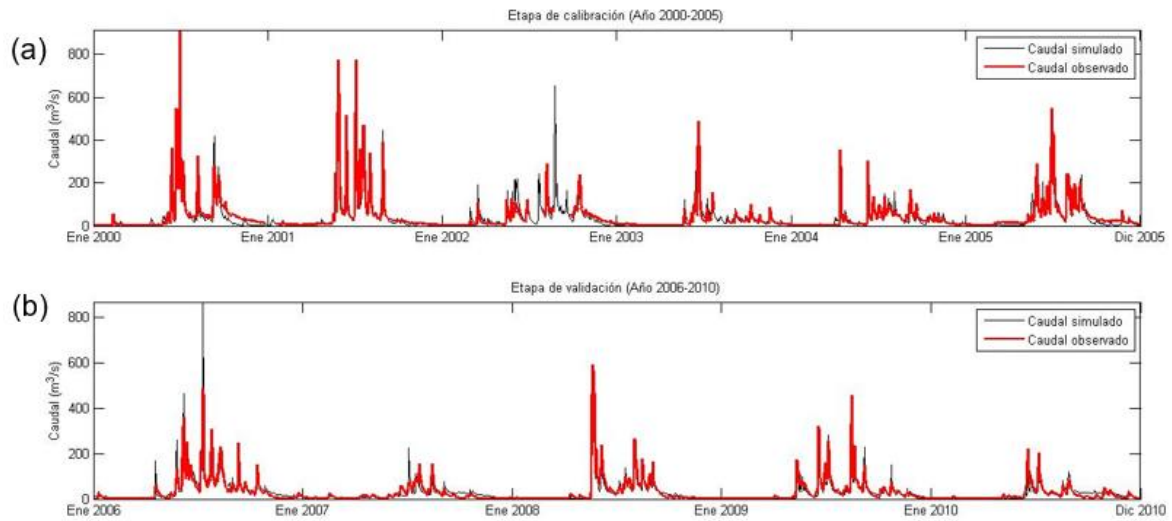


Figura 5: Simulación del modelo HBV a) Etapa de Calibración; b) Etapa de Validación.

Tabla 3: Parámetros óptimos para cuenca Perquilauquén.

Parámetro	Valor óptimo
C_{melt}	0,510
FC	1107
c	0,127
$beta$	0,264
L	62,500
k_0	0,598
k_1	0,180
k_2	0,100
k_p	0,110
LP	0,962
SF	0,410
a	1,055

4.2 Cuenca de *Paradise Creek*

Los resultados obtenidos de la calibración del modelo para la cuenca de *Paradise Creek* se muestran en la Figura 6. Se observa que el modelo no representa correctamente los procesos hidrológicos que ocurren en la cuenca. En una primera calibración se obtuvo un índice NSE de 0,28 definido como “insatisfactorio” por Van Liew et al (2005). Esto se debería al congelamiento del suelo, debido a que se podría producir acumulación de nieve en los períodos de bajas temperaturas. Esta nieve acumulada, al momento de comenzar las precipitaciones aportarían un caudal extra a la escorrentía. Este proceso de derretimiento no estaría bien representado por el modelo, debido a

que este necesita trabajar con dos depósitos de almacenamiento, y este congelamiento condicionaría al modelo a trabajar solamente con el deposito superior (Figura 4).

Por otro lado, los caudales observados son de magnitudes bajas, los cuales afectarían directamente al índice NSE, puesto que este índice mide la diferencia entre los caudales simulados y observados. Además, Staudinger et al., (2011) mencionan que los caudales bajos a menudo son mal simulados por los modelos hidrológicos, puesto que están diseñados tradicionalmente para hacer frente a situaciones de flujo máximo.

Considerando los resultados obtenidos de la primera calibración, se realizó una nueva calibración ampliando los rangos de los coeficientes de recesión K_0 , K_1 y K_2 , debido a que estos imponen una restricción a la velocidad de salida del caudal en los depósitos del modelo. Los resultados para esta segunda etapa de calibración de presentan en la Figura 7(a), donde se puede observar que el modelo mejora levemente obteniendo un índice NSE de 0.35, sin embargo sigue estando en la clasificación de modelación como “Insatisfactoria” según lo presentado en la Tabla 1.

Los resultados de esta calibración se presentan en la Tabla 4. Con estos datos se procedió a la etapa de validación la cual se presenta en la Figura 7(b), en la cual se obtuvo un índice NSE de 0,32, el cual sigue estando en la clasificación de “Insatisfactoria” según los presentado en la Tabla 1.

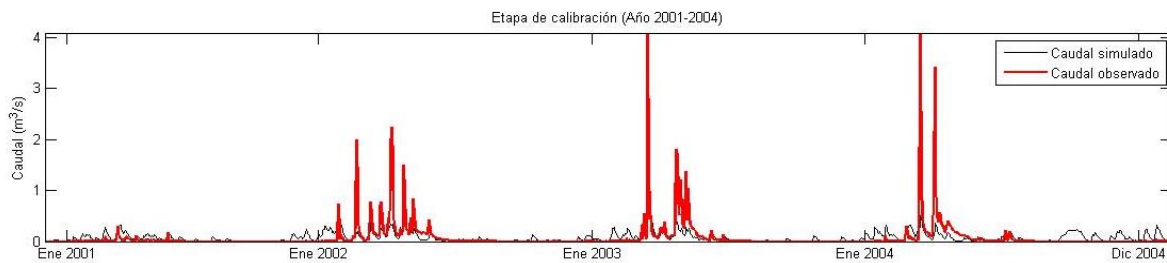


Figura 6: Primera Calibración del modelo HBV en la cuenca de *Paradise Creek*.

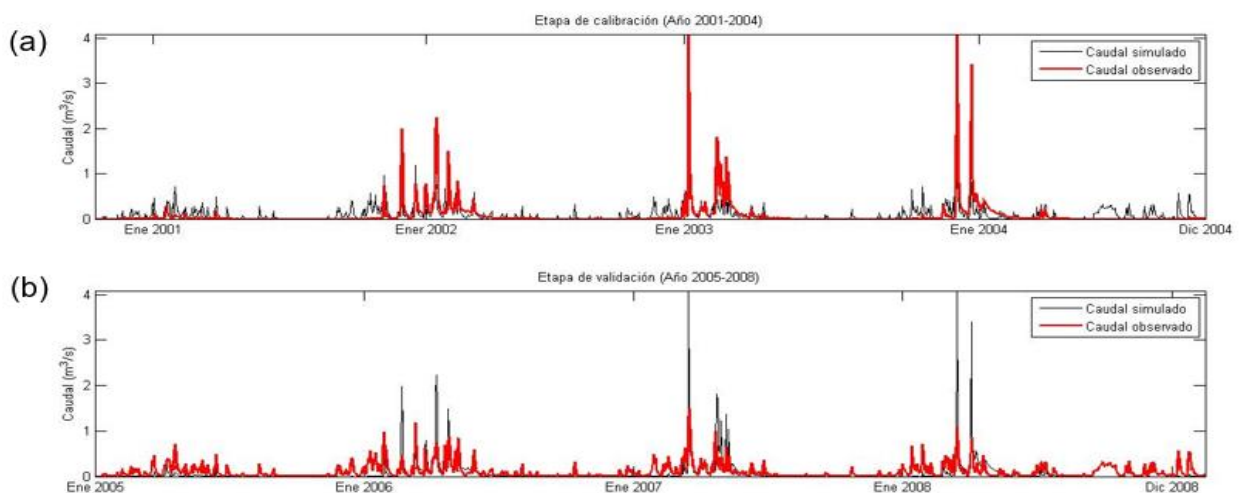


Figura 7: Simulación del mejor modelo para la cuenca *Paradise Creek* a) Etapa de Calibración; b) Etapa de Validación.

El modelo HBV es capaz de simular los procesos de evapotranspiración real, deshielo y generación de escorrentía, entre otros procesos hidrológicos. En la cuenca del río Perquilauquén, la generación de escorrentía es principalmente debido a las precipitaciones que ocurren en la zona, con una pequeña influencia nival en los meses de invierno. Debido a esto, la calidad de la información de precipitaciones es de suma importancia, y en menor manera la información de temperaturas. Puesto que las series de datos mencionadas corresponden a variables de entrada del modelo, y a que se obtuvieron resultados satisfactorios en esta cuenca, se puede concluir que la información obtenida de la DGA y de la base de datos AgMERRA es representativa de la cuenca del Río Perquilauquén.

Por otra parte, en la cuenca de *Paradise Creek*, la generación de escorrentía está dada en gran parte por el derretimiento de nieve, debido a que en gran parte del año las temperaturas son menores a cero grados. Esto se puede ver contrastado en el valor óptimo del parámetro de ajuste de las precipitaciones presentado en la Tabla 4, la cual indica que de las precipitaciones están reducidas a un 20% de las reales. Debido a que los resultados del modelo HBV para las series de datos de entrada en esta cuenca son insatisfactorios, se estima que el modelo no representa de buena manera algunos procesos hidrológicos que ocurren en esta cuenca. Aparentemente, el almacenamiento nival y el derretimiento no estarían siendo modelados de forma correcta debido al congelamiento del suelo, por lo que se debería realizar una modificación al modelo para ajustar estos procesos. Además, este congelamiento podría afectar a la correcta infiltración del agua, evitando que se produzca el exceso de saturación necesario para la generación de escorrentía.

Tabla 4: Parámetros óptimos para cuenca Paradise Creek.

Parámetro	Valor óptimo
<i>C_{melt}</i>	0,501
<i>FC</i>	90,20
<i>c</i>	0,140
<i>beta</i>	0,519
<i>L</i>	52,50
<i>k₀</i>	0,080
<i>k₁</i>	0,745
<i>k₂</i>	0,270
<i>k_p</i>	0,400
<i>LP</i>	0,292
<i>SF</i>	1,044
<i>a</i>	0,209

5. CONCLUSIONES

Se implementó el modelo HBV en las cuencas de los ríos Perquilauquén y *Paradise Creek* a escala diaria, con diferentes resultados para cada lugar de estudio.

En la cuenca del Río Perquilauquén se obtuvieron resultados calificados como buenos con la información disponible. Los resultados obtenidos para esta cuenca están dentro de lo esperado, debido a que el modelo HBV se ha implementado con éxito en varias partes del mundo, y en cuencas con características similares.

En la cuenca de *Paradise Creek*, por el contrario, se obtuvieron resultados insatisfactorios, esto aparentemente se debe a cómo el modelo representa los procesos hidrológicos, los cuales no son representativos para esta cuenca. Estos resultados, no representativos, estarían dados por que el modelo no es capaz de realizar de forma correcta la modelación del almacenamiento nival ni del deshielo, por lo que sería necesario realizar una modificación al modelo para obtener resultado. Debido, a las bajas temperaturas que presenta la cuenca y a que gran parte del tiempo que precipita el suelo se encuentra congelado, propiciaría la acumulación excesiva de nieve, por lo que se propone realizar una modificación tanto a los coeficientes de recesión, los cuales controlan las velocidades de salida, tanto del flujo superficial como del sub-superficial; como al parámetro *C_{melt}* el cual se encarga de modelar la fracción de nieve a derretir cuando se supera la temperatura umbral (TT).

REFERENCIAS

- Aghakouchak A and Habib E.** (2010). "Application of a Conceptual Hydrologic Model in Teaching" *Hydrologic Processes. International Journal of Engineering Education* 26 (4), pp. 963-973.
- Bergström, S.** (1992). "The HBV model: Its structure and applications". *Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping.*
- Bergström, S.** (1995). "The HBV model. In: Singh, V.P. (Ed.)". *Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO.*, pp. 443-476.
- Brooks, E., Boll, J., Snyder, A., Ostrowski, K., Kane, S., Wulfhorst, J., Van Tassell, L & Mahler, R.** (2010). "Long-term sediment loading trends in the Paradise Creek watershed". *Journal of soil and Water Conservation*, pp. 331-341.
- D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, and T. L. Veith,** (2007). "Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations". *Transactions of the ASABE*, 50(3), pp. 885-900.
- Kollat JB, Reed PM y Wagener T.** (2012). "When are multiobjective calibration trade-offs in hydrologic models meaningful" *Water Resources Research*, pp. 48.
- Muñoz, E., Rivera, D., Vergara, F., Tume, P. and Arumí, J.** (2014). "Identifiability analysis: towards constrained equifinality and reduced uncertainty in a conceptual model". *Hydrological Sciences Journal*, 59(9), pp. 1690-1703.

- Najafi, M., Moradkhani, H. and Jung, I.** (2011). “Assessing the uncertainties of hydrologic model selection in climate change impact studies”. *Hydrological Processes.*, 25(18), pp. 2814-2826.
- Ruane, A., Goldberg, R. and Chryssanthacopoulos, J.** (2015). “Climate forcing datasets for agricultura modeling: Merged products for gap-filling and historical climate series estimation”. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, pp. 233-248.
- Rusli, S., Yudianto, D. and Liu, J.** (2015). “Effects of temporal variability on HBV model calibration”. *Water Science and Engineering*, 8(4), pp. 291-300.
- Staudinger M, Stahl K, Seibert J, Clark M y Tallaksen L.** (2011). “Comparison of hydrological model structures based on recession and low flow simulations”. *Hydrology and Earth System Sciences 15*, pp. 3447–3459.
- Van Liew M, Arnold J y Bosch D.** (2005). “Problems and potential of autocalibrating a hydrologic model”. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineering 48(3)*, pp. 1025-1040.